

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JAQUELINE MELO GRABARSKI DE ANDRADE

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAINÉIS
COMPENSADOS ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

CURITIBA

2008

JAQUELINE MELO GRABARSKI DE ANDRADE

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAINÉIS
COMPENSADOS ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Monografia apresentada como
requisito parcial á conclusão do
Curso de Engenharia Industrial
Madeireira, do Setor de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Jorge

CURITIBA

2008

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Luís Monteiro de Matos, pela orientação durante a realização deste trabalho e pela amizade.

Ao Prof Dr. Romano Timofeiczuk Junior, pela sua dedicação em ensinar ajudando em todos os momentos da minha formação.

Aos colegas Hudson, Thais, Rosilani, Prata e Silvia, pela amizade e convívio.

A amiga Claudia Chimelli Mazepa pela amizade , companheirismo e apoio demonstrado durante a minha vida acadêmica.

RESUMO

Atualmente no Brasil, as indústrias de compensado tem se baseado em procedimentos de amostragem estatística, nas quais partes desses produtos são testados destrutivamente, em geral meses depois da sua produção, em laboratórios externos.

Objetivando-se em buscar uma alternativa rápida e eficaz para determinação das propriedades dos painéis, de tal forma que a empresa possa avaliar e efetuar um controle de qualidade dos produtos que fabrica, no momento em que são produzidos, evitando assim devoluções, desperdícios, perda de tempo, etc.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA PRODUÇÃO E CONSUMO DO COMPENSADO	15
FIGURA 2 - EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE COMPENSADOS.....	17
FIGURA 3 – DESTINO DAS EXPORTAÇÕES DE COMPENSADO DE PINUS	18
FIGURA 4 - VARIAÇÃO DE FATORES DE CUSTOS E PREÇOS (EM US\$) E INFLAÇÃO.....	19
FIGURA 5 - VARIAÇÃO DO CUSTO E PREÇO (BASE 100)	20
FIGURA 6 – FASES DO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO.....	26
FIGURA 7 – APARATO PARA ENSAIOS DE CCARGA EM PAINÉIS ESTRUTURAIS DE ACORDO COM A NORMA PS2-04	34
FIGURA 8 – ESQUEMA DE CORTE DO TIPO ESTRUTURAL.....	37
FIGURA 9 –DIMENSÕES E PARÂMETROS PARA ENSAIOS DO CORPO DE PROVA DE FLEXÃO ESTÁTICA ESTRUTURAL	38
GRÁFICO 1 – CORRELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE PERPENDICULAR COM O MOE PERPENDICULAR.....	48

LISTA DE TABELAS

QUADRO 1 - PRINCIPAIS DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS CHAPAS DE COMPENSADO DE PINUS.....	27
QUADRO 2. – MASSA ESPECIFICA DO COMPENSADO DE PINUS BRASILEIRO.....	27
QUADRO 3 – RESISTÊNCIA Á FLEXÃO ESTÁTICA DO COMPENSADO DE PINUS BRASILEIRO.....	28
QUADRO 4- VALORES DE REFERÊNCIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE COMPENSADOS EM CLASSES DE QUALIDADE PRATICADOS POR AGÊNCIAS DE CERTIFICAÇÃO AMERICANAS, NO BRASIL.....	35
QUADRO 5 - PARÂMETROS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DO CORPO DE PROVA DOS PAINÉIS COMPENSADOS, DE ACORDO COM A NORMA EN – 789.....	38
QUADRO 6 - VALORES DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTRUTURAL PARALELA EM COMPENSADO DE PINUS.....	41
QUADRO 7 - VALORES DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTRUTURAL PERPENDICULAR EM COMPENSADO DE PINUS.....	42
QUADRO 8 - PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE ACORDO COM PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE CARGA E STRESS WAVE TIMER.....	44
QUADRO 9 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO TODOS OS VALORES DE RESISTÊNCIA OBTIDOS NOS SENTIDOS PARALELOS E PERPENDICULAR AS FIBRAS (EN 789 X PS2 X STRESS WAVE TIMER)	46

LISTA DE ABREVIATURAS

MOE – Módulo de Elasticidade.

MOEd – Módulo de Elasticidade Dinâmico

MOR – Módulo de Ruptura.

EN – European Norm – Norma europeia.

ITT – Initial Testing Tipe – Ensaio Iniciais de Qualificação

SWT – Stress Wave Timer

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 OBJETIVO.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1 PAINÉIS DE MADEIRA.....	12
3.1.1 VANTAGENS DO PAINEL COMPENSADO SOBRE A MADEIRA SÓLIDA:	12
3.1.2 CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA	12
3.2 INDÚSTRIA DE COMPENSADO NO BRASIL	13
3.3 PRODUÇÃO DE COMPENSADO NO BRASIL.....	14
3.4 EXPORTAÇÃO BRASILEIRA	16
3.5 EVOLUÇÕES DOS CUSTOS E PREÇOS DE COMPENSADOS NO PERÍODO DE 2002-2007, EM REAIS E DÓLAR	18
3.6 CONCEITOS DE PAINEL COMPENSADO.....	20
3.6.1 APLICAÇÕES E PRINCIPAIS USOS DOS PAINÉIS COMPENSADOS	21
3.7 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE COMPENSADO.....	22
3.7.1 JUNÇÃO DE LÂMINAS, PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO DE ADESIVO	22
3.7.2 MONTAGEM DO COMPENSADO E PRÉ – PRENSAGEM.....	23
3.7.3 PRENSAGEM DOS PAINÉIS.....	23
3.7.4 ACABAMENTO, CLASSIFICAÇÃO E ARMAZENAMENTO.....	24
3.8 PROGRAMA NACIONAL DE QUALIDADE DA MADEIRA (PNQM)	25
3.9 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS DE PROPRIEDADES DE MADEIRAS.....	28
3.9.1 MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA POR EMISSÃO DE ONDAS DE TENSÃO (STRESS WAVE)	29
3.9.2 PRINCÍPIOS BÁSICOS DOS MÉTODOS ESTUDADOS.....	31
3.10.1 NORMA VOLUNTARIA PS2-04 (PERFORMANCE STANDARD FOR WOOD- BASED STRUCTURAL- USE PANELS).....	31

3.9 CLASSIFICAÇÃO MECÂNICA.....	32
4 MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 PAINÉIS ESTUDADOS	33
4.2 AMOSTRAGENS DO PRODUTO	33
4.3 AVALIAÇÕES NÃO DESTRUTIVAS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS.....	33
4.4 MÉTODOS- NÃO – DESTRUTIVO – PROVA DE CARGA.....	33
4.4.1 VALORES DE REFERÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS ESTRUTURAIS DE ACORDO COM CERTIFICADORAS AMERICANAS.....	35
4.5 MÉTODOS STRESS WAVE TIMER – NÃO – DESTRUTIVO.....	36
4.6 CONFECÇÕES DOS CORPOS DE PROVA	36
4.7 MÉTODOS EN 789 – AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS PAINÉIS COMPENSADOS - MÉTODO DESTRUTIVO	37
4.7.1 FLEXÃO ESTÁTICA (EN-789:2004)	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1 MÓDULO DE ELASTICIDADE E MÓDULO DE RUPTURA ESTÁTICO (MÉTODO DESTRUTIVO)	40
5.2 MÓDULOS DE ELASTICIDADE	43
5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E MODELOS DE EQUAÇÃO DE REGRESSÃO.....	45
6. CONCLUSÕES.....	49

1. INTRODUÇÃO

A instalação no sul do país das primeiras indústrias de compensado se deu nos anos de 1940, sendo utilizado como principal matéria-prima a *Araucaria angustifolia*, mais conhecida como Pinheiro do Paraná.

Nos anos 60, houve uma iniciativa do Governo Federal que iniciou uma política de incentivos fiscais para o plantio de florestas de rápido crescimento nas regiões sul e sudeste do país. As espécies utilizadas para o sul do país foram espécies do gênero *Pinus*, que se adequaram muito bem na região devido ao clima e ao tipo de solo. Como consequência, nos anos seguintes houve uma grande oferta de matéria prima que acabou atraindo várias indústrias de compensados, devido a escassez da matéria prima nativa.

A produção de painéis de madeira tem apresentado uma evidente tendência ao crescimento, pois são uma alternativa em relação a madeira serrada.

Os painéis de madeira não impõem restrições ao emprego de espécies de reflorestamento, de rápido crescimento e densidade média, alguns tipos de painéis podem ser fabricados com resíduos de madeira. Outra vantagem dos painéis de madeira é a diminuição da anisotropia e apresentam poucas limitações dimensionais.

Um cuidado especial, que necessita de urgentes investimentos de pesquisa, refere-se ao desenvolvimento de tecnologias mais ágeis de determinação das propriedades mecânicas dos painéis de madeira.

Nas indústrias de compensados no Brasil, até o presente momento, essa avaliação normalmente tem se baseado em procedimentos de amostragem estatística, nos quais partes desses produtos são testadas destrutivamente, em geral meses depois da sua produção.

A maioria das empresas necessita contratar um laboratório especializado para que os ensaios destrutivos possam ser realizados. Os ensaios destrutivos são ensaios normalmente demorados e de alto custo, pois o material utilizado no ensaio será destruído sem possibilidades de uso e ainda a empresa terá que investir para a realização dos ensaios.

Neste contexto fica plenamente evidenciada a importância de se investigar a adequação do uso de técnicas não-destrutivas de ensaios, como as do Stress Wave

e do PS2-4 (ensaio de carga), para a adequada estimativa das propriedades dos painéis.

Os métodos não destrutivos apresentam algumas vantagens sobre os métodos destrutivos, entre as principais vantagens pode-se citar: a possibilidade de reutilização da peça testada; a rapidez de aplicação do método; facilidade de utilização e transporte do equipamento

O método não destrutivo pode ser utilizado na área florestal para uma série de finalidades, desde a matéria prima bruta até peças estruturais.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento estrutural de compensado de Pinus por métodos não destrutivos de prova de carga e stress wave timer.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar ensaios não destrutivos em compensado estrutural.

Avaliar as relações entre os métodos destrutivos e não destrutivos para predição da resistência.

Avaliar a viabilidade de utilização da metodologia proposta pela norma americana em seu artigo 7, item 7.20 – ensaio de carga (Dead weight stiffness capacity (EI) test) e o ensaio do stress wave timer como procedimento alternativo para obtenção de parâmetros de controle de qualidade de produção em fábrica para painéis compensados, de acordo com requisitos da norma Européia EN 789.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PAINÉIS DE MADEIRA

Os painéis de madeira podem ser definidos produtos de elementos de madeira obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva. (IWAKIRI 2005, citado por PRATA 2006).

Segundo PRATA 2006, os elementos básicos para os compostos de madeira têm uma grande variação quanto ao tamanho e forma, e podem ser utilizados sozinhos ou combinados.

Estes compostos são usados para usos estruturais e não estruturais, nas linhas de produtos que variam dos painéis para finalidade de uso interior aos painéis para usos exteriores e suportam estruturas em muitos tipos de edifícios. (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

3.1.1 VANTAGENS DO PAINEL COMPENSADO SOBRE A MADEIRA SÓLIDA:

- A anisotropia na madeira compensada em relação a madeira serrada é menor, devido a disposição das lâminas.
- O painel apresenta uma resistência mais uniforme.
- O rendimento da tora de laminação é maior que no desdobro da madeira serrada.

3.1.2 CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA

Pode-se dividir os painéis de madeira em dois grupos:

- Compostos laminados;
- Compostos particulados.

Dentro da classe dos compostos laminados temos os compensados laminados e os sarrafeados.

Nos compostos particulados existem os painéis minerais com partículas do tipo “flake” e “excelsior”, os painéis de fibras subdivididos em fibras duras, M.D.F,

H.D.F e isolantes e os painéis aglomerados do tipo convencional, “waferboard” e O.S.B. (MENDES, 2001).

3.2 INDÚSTRIA DE COMPENSADO NO BRASIL

O termo “compensado” foi introduzido pela primeira vez na terminologia industrial durante a primeira guerra mundial. Até esta data, os produtos deste tipo eram chamados de folheados (DOUGLAS FIR PLYWOOD ASSOCIATION, 1960).

Na metade do século XIX surgiu o processo tecnológico da laminação, pois foi quando ocorreu o desenvolvimento do torno desfolheador.

O painel compensado foi o primeiro painel de madeira a ser produzido no Brasil e a sua instalação se deu por volta da década de 40 na região sul do país, devido a disponibilidade de matéria-prima (Pinho, madeira extraída da Araucária angustifolia). Por volta das décadas de 60 e 70 desenvolveu-se a indústria de compensados de madeiras tropicais.

As primeiras chapas de compensados eram de dimensões reduzidas e colas de base animal e vegetal (Zugman 1998). Porém o impulso no desenvolvimento dos painéis de madeira se deu no final dos anos 50, com o surgimento das resinas sintéticas.

Com a redução da disponibilidade da matéria-prima e a expansão da agricultura as fabricas de começaram a migrar para a região norte do país.

Na década de sessenta, o Governo Federal iniciou uma política de incentivos fiscais para o plantio de florestas de rápido crescimento nas regiões sul e sudeste do país. Esta iniciativa resultou em um aumento significativo na área de florestas plantadas no país. As espécies utilizadas foram as exóticas como pinus e eucaliptos, na região sul foram plantadas espécies do gênero Pinus as quais se adequaram muito bem na região devido ao clima e ao tipo de solo.

O segmento produtor de painel de compensado no Brasil é constituído, predominantemente, por pequenas e médias empresas, que possuem cerca de 200 fábricas, concentrando em sua maioria na região sul, em especial, no Estado do Paraná. Estima-se que em conjunto estas fabricas, detêm uma capacidade instalada de produção de mais de 4 milhões de m³ anuais.

3.3 PRODUÇÃO DE COMPENSADO NO BRASIL

A produção brasileira de compensado de pinus apresentou grande variação nos últimos anos, de forma que em 1997 o consumo representava 78% da produção do país e em 2006 somente 27% da produção foi consumido (ABIMCI 2007)

A produção do compensado de pinus apresentou uma leve queda de 3,5% de 2005 para 2006, isto se deu devido a crise cambial.

Devido a política econômica brasileira as indústrias tiveram dificuldades para se manterem competitivas no mercado interno e externo, tendo uma gradual redução na produção, incluindo até a fechamento de algumas fábricas.

Na década de 90, o compensado de madeira tropical predominava sobre a produção de pinus. Após a crise asiática, este quadro começou a se inverter (ABIMCI 2004).

A produção de compensado tropical apresentou uma expressiva redução entre 2005 e 2006 e o consumo deste tipo de compensado teve uma queda praticamente proporcional a produção.

Estima-se que no ano de 2007 ocorra uma redução de aproximadamente 3% na produção de compensado tropical e que o seu consumo sofra um aumento de 7%. Já para o compensado de pinus estima-se para o ano de 2007 que haja uma redução tanto na sua produção como no seu consumo interno.

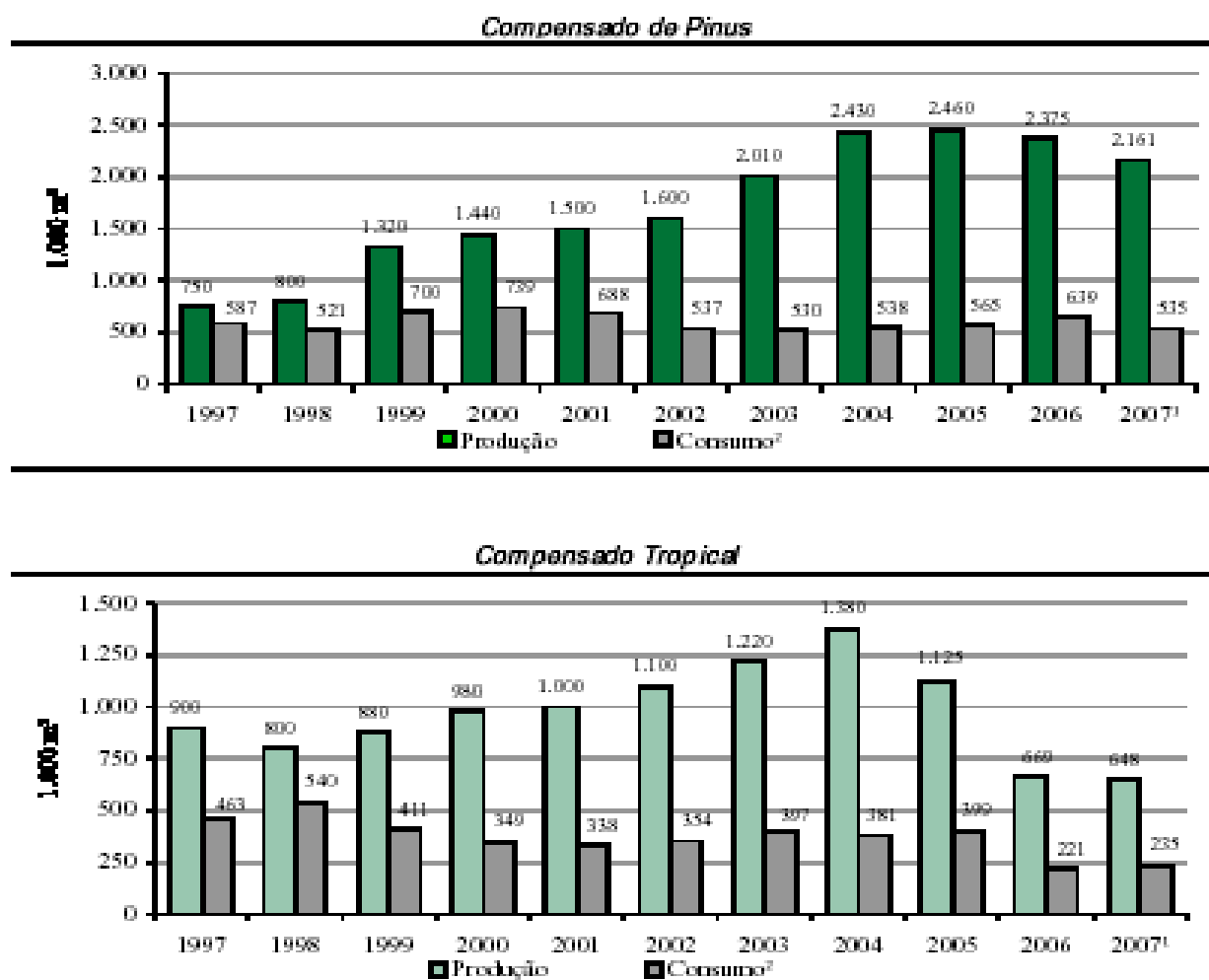


FIGURA 1 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA PRODUÇÃO E CONSUMO DO COMPENSADO (1997-2007)

FONTE : ABIMCI 2007

Os principais segmentos consumidores do compensado no mercado brasileiro são a indústria de móveis e o setor da construção civil, que correspondem a 31% e a 44%, respectivamente, do consumo doméstico.

3.4 EXPORTAÇÃO BRASILEIRA

Conforme Pinheiro et al (1992), citados por Ângelo (2002), a competitividade da madeira brasileira no cenário internacional esta associada a diversos fatores como preço dos insumos, taxa de câmbio e paridade em frente aos concorrentes internacionais, distâncias dos mercados aos países competidores, barreiras comerciais, qualidade e imagem do produto, incentivos a produção e comercialização, além de gostos e preferências dos consumidores.

Devido a perda de competitividade do compensado no exterior, sendo um dos motivos a valorização do Real frente ao Dólar Americano e o Euro, evidenciaram-se expressivas quedas nas exportações nos últimos anos.

Além das dificuldades cambiais, o produtor nacional enfrenta pesada concorrência da China, que além de ter facilidades apresentadas pelo Governo que aqui não se encontram, também têm matéria-prima e mão-de-obra especializada por um preço mais baixo, tornando o custo do produto inferior ao produzido no Brasil e a concorrência desleal.

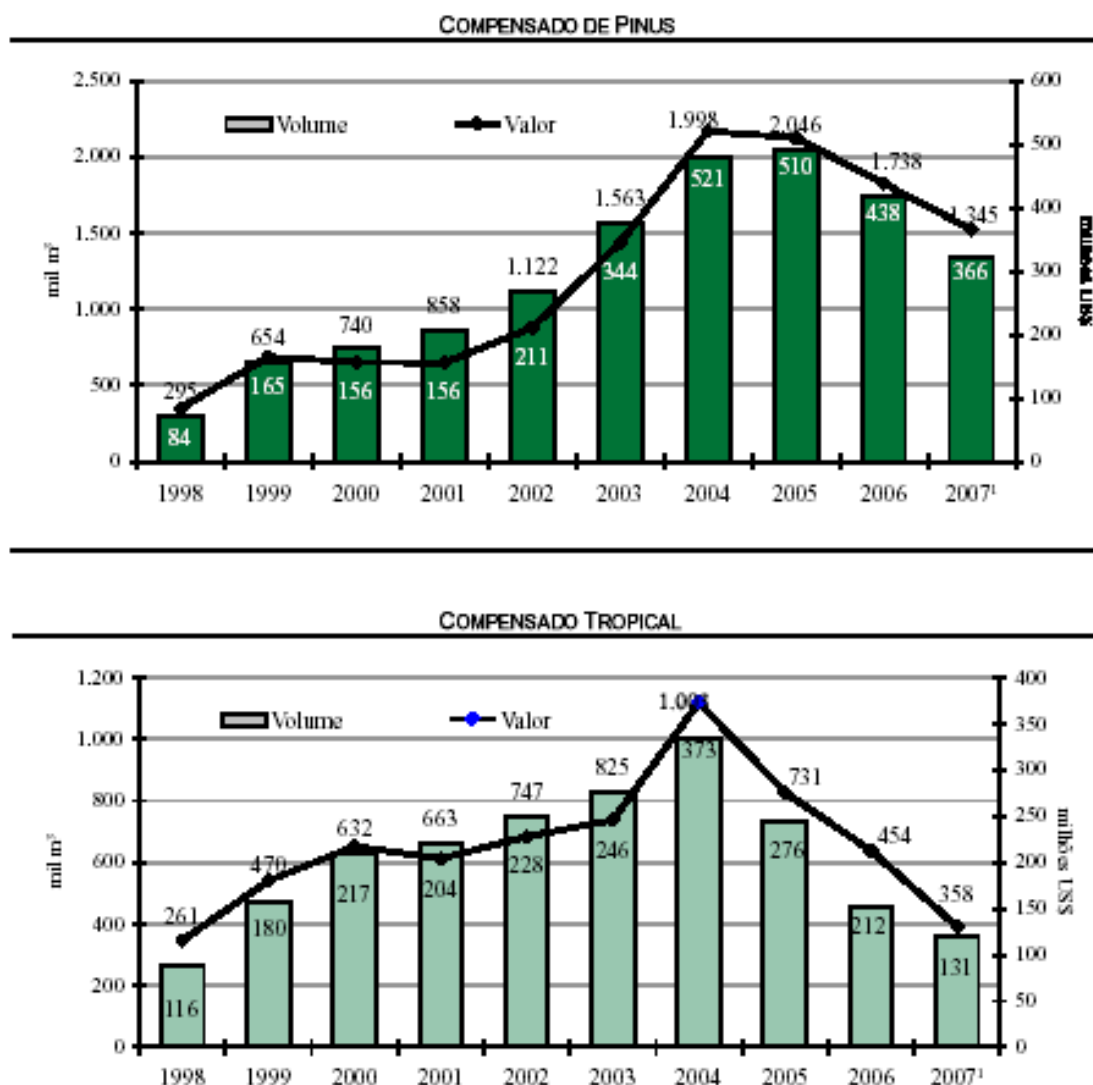


FIGURA 2 - EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE COMPENSADOS
FONTE: ABIMCI 2007

Os principais competidores do Brasil no mercado mundial de compensado tropical são a China, Malásia e Indonésia. Para o compensado de pinus destacam-se os Estados Unidos, Canadá e o Chile.

As exportações brasileiras de compensado de pínus, em 2005, tiveram como destino os Estados Unidos, o Reino Unido, a Bélgica e a Alemanha (Figura 2) (BNDES 2008).

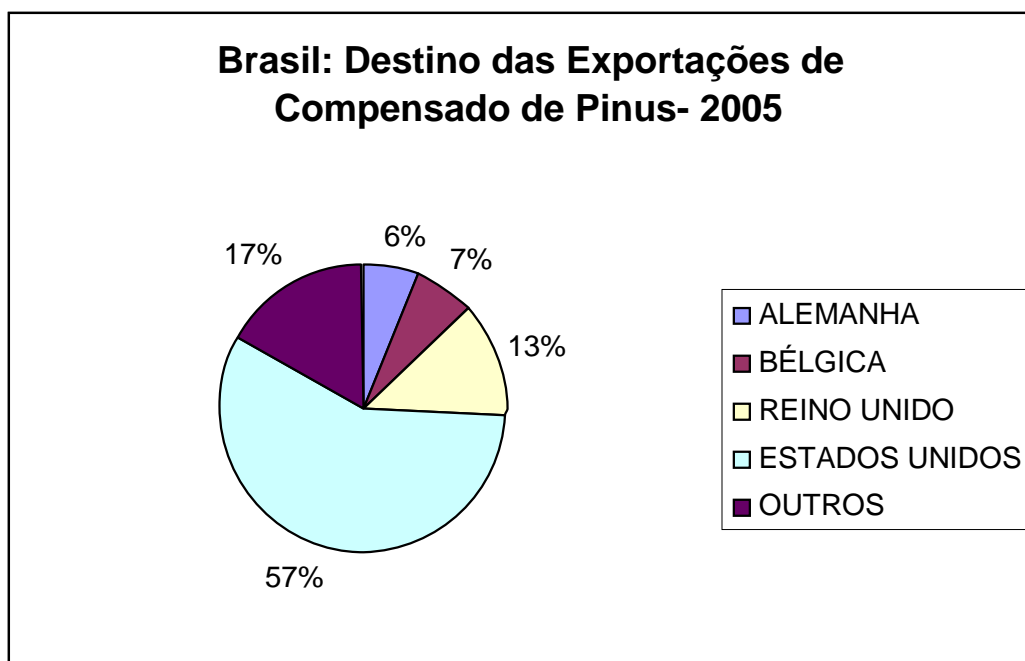


FIGURA 3 – DESTINO DAS EXPORTAÇÕES DE COMPENSADO DE PINUS
FONTE: SECEX/ MDIC

3.5 EVOLUÇÕES DOS CUSTOS E PREÇOS DE COMPENSADOS NO PERÍODO DE 2002-2007, EM REAIS E DÓLAR.

Segundo a empresa STCP existem vários fatores que colaboram para inviabilizar as exportações de compensado de pinus. Além da valorização do real, fatores como o diesel, energia elétrica, colas e mão-de-obra tiveram no período um aumento de 140% em média, ou seja, muito acima da inflação medida pelo IGPM. A variação dos custos e preços, e a inflação no período 2002 a 2007, são comparadas na figura 2.

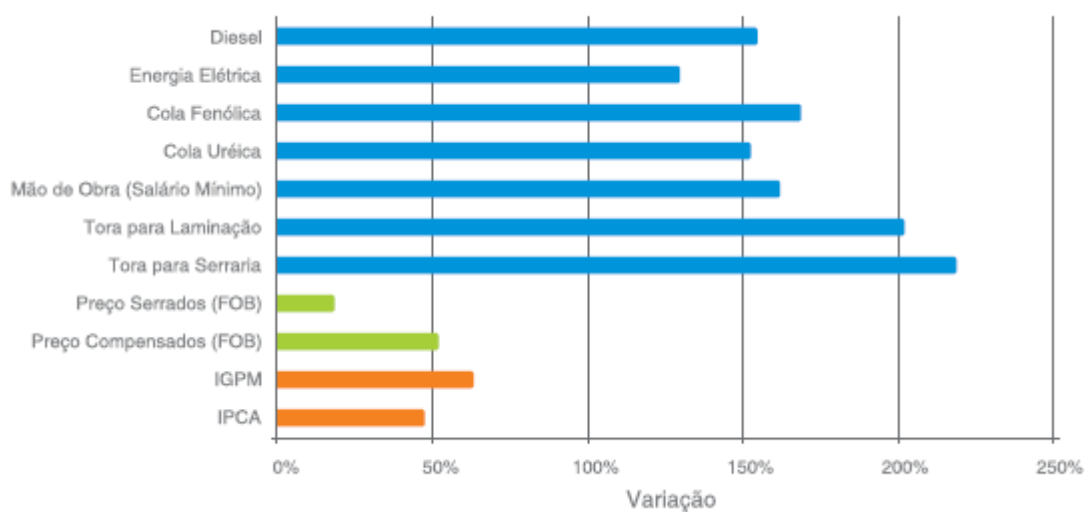


FIGURA 4 - VARIAÇÃO DE FATORES DE CUSTOS E PREÇOS (EM US\$) E INFLAÇÃO (2002-2007).

FONTE : De dados STCP (2007/2008)

Como pode ser observado, o maior problema enfrentado pelas empresas não é a valorização do real, ou o preço de exportação da madeira serrada e do compensado, mas sim uma elevada inflação setorial de custos, principalmente das matérias-primas (madeira e colas).

No caso da madeira em tora para produção de compensados, o incremento dos preços em Dólar foi de aproximadamente 220%. Este aumento foi 4 vezes maior que a variação do produto final e mais que o triplo da inflação no período.

Para o compensado o aumento no custo de produção foi de mais de 130%, os preços apresentaram um incremento de apenas 20%.

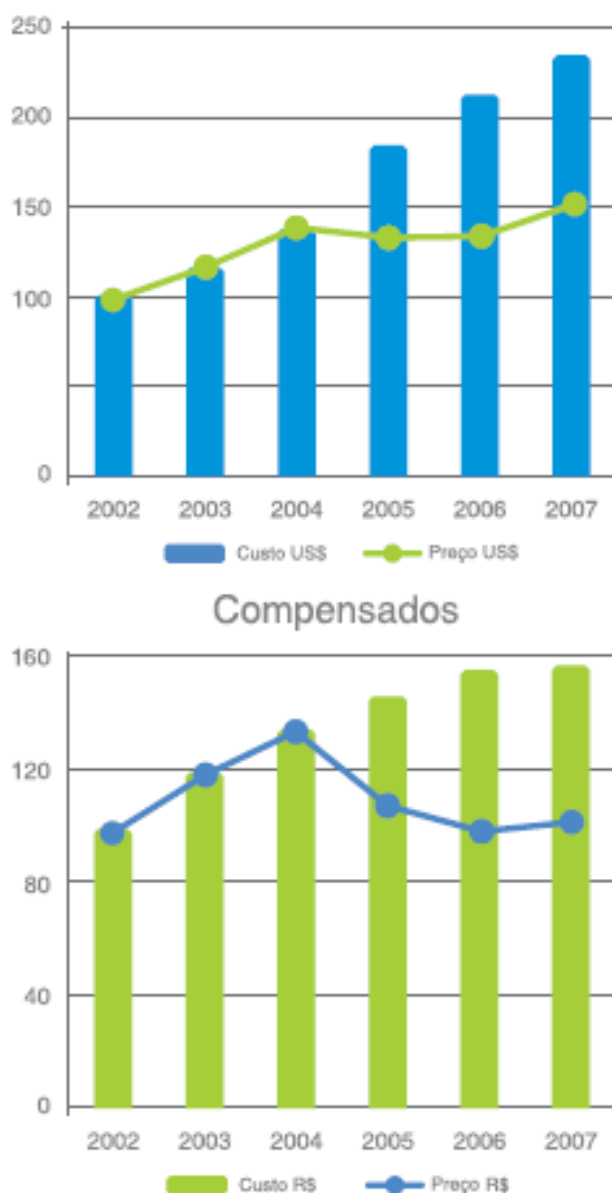


FIGURA 5 - VARIAÇÃO DO CUSTO E PREÇO (BASE 100)
 FONTE : De dados STCP (2007/2008)

3.6 CONCEITOS DE PAINEL COMPENSADO

O compensado é um painel fabricado através de colagem de lâminas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes (IWAKIRI 1998). Assim, a resistência e rigidez no sentido do comprimento do compensado serão um pouco menores que aqueles de madeira sólida mas a resistência e rigidez nos outros sentidos da grã são aumentados se comparados com a madeira sólida.

Prata (2006) cita que as lâminas podem variar no número, na espessura, na espécie e na classe de madeira. A alternância do sentido da grã nas camadas adjacentes confere ao painel compensado estabilidade dimensional em sua largura.

Conforme o local de utilização, as chapas de compensado podem ser classificadas em: IR (interior), IM (intermediário) e EX (exterior).

Além desta classificação, há uma outra que é utilizada pelo mercado em geral. Nessa classificação, os compensados são subdivididos quanto ao seu uso, conforme apresentado a seguir:

- Compensados de Uso Geral- São chapas de madeira compensada, multilaminada ou sarrafeada, e cujo adesivo empregado na sua fabricação a restringe ao uso interno.
- Forma de Concreto- São chapas de madeira compensada, multilaminada, e cuja colagem é à prova d'água, admitindose, portanto o uso exterior.
- Decorativo- Estas chapas recebem na sua superfície uma lâmina de madeira considerada como decorativa, e a colagem deve ser do tipo intermediária, ou seja, pode ser utilizada em locais de alta umidade relativa, e eventualmente entrar em contato com a água.
- Industrial- A chapa do tipo industrial é aquela que possui a menor restrição em termos de aparência da superfície, mas é exigida boa resistência mecânica e o adesivo utilizado deve ser do tipo à prova d'água.
- Naval- São chapas classificadas genericamente como de uso exterior (cola à prova d'água), com alta resistência mecânica e montagem perfeita.

3.6.1 APLICAÇÕES E PRINCIPAIS USOS DOS PAINÉIS COMPENSADOS

O painel de compensado tem múltiplas aplicações: construção civil, móveis, formas para concreto, embalagens etc. Suas características mecânicas, grandes dimensões e variedades de tipos adaptáveis a cada uso, constituem os principais atributos para justificar a ampla utilização deste material (MACEDO & ROQUE 1997).

Os compensados podem ser classificados como estruturais e não estruturais esta classificação é definida através dos valores das propriedades físicas e mecânicas, os quais são definidos por normas técnicas.

Os compensados estruturais são utilizados principalmente na construção civil e são compostos a base de resina fenólica e os não estruturais são utilizados principalmente na construção de móveis e são compostos a base de resina uréica.

3.7 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE COMPENSADO

Existem fatores como o teor de umidade, quantidade de lenho tardio e inicial nas lâminas, espécie da madeira, pressão e temperatura utilizada na fabricação dos painéis influenciam diretamente na massa específica do painel. (KOLLMANN citado por PRATA 2006).

O processo de fabricação de compensados é feito em várias etapas:

- Junção de lâminas;
- Preparação e aplicação do adesivo;
- Montagem do compensado;
- Pré – prensagem (frio);
- Prensagem a quente;
- Acondicionamento;
- Acabamento;
- Classificação e Armazenamento.

3.7.1 JUNÇÃO DE LÂMINAS, PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO DE ADESIVO.

A junção das lâminas consiste na colagem das bordas dos painéis, as lâminas nem sempre apresentam as dimensões finais desejadas, isto devido a necessidade do melhor aproveitamento das lâminas durante o processo de seccionamento em guilhotinas.

BALDWIN (1995) descreve que o tipo, a quantidade e a composição do adesivo, assim como os procedimentos empregados na colagem de lâminas, são de importância fundamental na qualidade das chapas.

A formulação do adesivo depende do tipo de resina e dos níveis de qualidade requerida do compensado (IWAKIRI 1998).

Os adesivos possuem na sua formulação os seguintes componentes: resina, extensor, água, catalisador, materiais de enchimento e mais alguns aditivos químicos.

JANKOWSKY (1980) concluiu que o aumento na porcentagem de extensor provoca uma diminuição na qualidade da linha de cola verificada através da resistência do painel à flexão estática, principalmente no sentido paralelo.

A quantidade de adesivo que será aplicado no painel depende do tipo de resina, espessura da lâmina e grau de extensão.

A baixa densidade e a alta permeabilidade da madeira são alguns dos fatores e que também influenciam significativamente o processo de colagem dos painéis e a resistência da linha de cola (MARRA 1992).

3.7.2 MONTAGEM DO COMPENSADO E PRÉ – PRENSAGEM.

A montagem do compensado é a etapa em que as lâminas serão colocadas com as grãos perpendiculares entre si. Nesta etapa ocorre a seqüência de lâmina e adesivo.

A seleção adequada das lâminas por classe de qualidade, ou seja, lâminas destinadas ao miolo e a capa dos compensados é um fator relevante na fase de montagem tendo em vista que uma das classificações dos painéis compensados é por qualidade das superfícies.

A etapa de pré – prensagem tem o intuito de fazer com que ocorra a transferência do adesivo de uma lâmina a outra, além de melhorar a distribuição do adesivo nas lâminas e ainda reduzir o tempo de prensagem a quente.

A pré-prensagem é muito utilizada para facilitar o carregamento da prensa a quente.

3.7.3 PRENSAGEM DOS PAINÉIS.

O tempo decorrido desde o fechamento até a abertura da prensa deve ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura ideal para a cura da resina e para a migração da umidade pelas bordas do painel

Na etapa da prensagem existem algumas variáveis de controle da prensa, estas variáveis são as seguintes: pressão, temperatura e tempo de prensagem.

Os principais fatores que influenciam no tempo de prensagem, segundo IWAKIRI (2005) são:

- Distância da superfície do painel até a linha de cola mais interna;
- Catalisador;
- Gramatura;
- Grau de extensão;
- Tempo de montagem;
- Pressão aplicada;
- Temperatura inicial da madeira;
- Densidade;
- Porosidade;
- Teor de umidade da madeira.

KELLY, citado por PIO (2002), concluiu que o teor de umidade é um fator extremamente importante para o tempo de prensagem, pois aumenta a velocidade de transferência de calor da superfície para o centro do painel trazendo uma maior eficácia na cura da resina, devido à melhor condução de calor em condições de umidade do que no ar.

A pressão aplicada durante a prensagem dos painéis tem a finalidade de transferência do adesivo entre as lâminas e assegurar um contato adequado entre as lâminas e os pratos quente da prensa, pelo qual, ocorre a redução de espaços vazios na madeira devido à compressão e melhora a difusão de calor a partir da superfície ao centro do painel (IWAKIRI, 2005)

A temperatura de prensagem depende do tipo de resina utilizada. O teor de umidade também influencia na temperatura.

3.7.4 ACABAMENTO, CLASSIFICAÇÃO E ARMAZENAMENTO.

Após os painéis serem retirados da prensa quente, estes seguem para o acondicionamento, o qual visa à cura adicional da resina e equalização do gradiente de umidade e temperatura.

Ainda faz parte do acabamento o esquadrejamento e lixamento.

O esquadrejamento consiste em cortes laterais para ajustes de largura e comprimento dos painéis em medidas padronizadas. Já o lixamento tem como objetivos o ajuste da espessura e eliminação de pequenas imperfeições superficiais.

3.8 PROGRAMA NACIONAL DE QUALIDADE DA MADEIRA (PNQM)

Em 1999 foi criado pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) o Programa Nacional de Qualidade do

Compensado (PNQC), tendo como objetivo desenvolver um sistema nacional de certificação do compensado de pinus. No decorrer do ano de 2000 o programa foi ampliado passando a envolver outros tipos de produtos de madeira sólida e a este programa deu-se o nome de Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM).

Dentro do PNQM foi criado um conselho e a este se deu o nome de Conselho Nacional de Qualidade da Madeira (CNQM). Este conselho é por produtores, agentes da cadeia de comercialização, associação de consumidores, universidades e institutos de pesquisa e fornecedores de insumos.

O Conselho possui as responsabilidades de definir diretrizes ao PNQM, coordenar trabalho relacionado com a definição de padrões técnicos e procedimentos da qualidade relativos ao processo de produção dos produtos a serem certificados, definir critérios de certificação de produtores e fornecedores, selecionar e qualificar auditores da qualidade e decidir em caso de queixa de consumidores e reclamações (ABIMCI 2002).

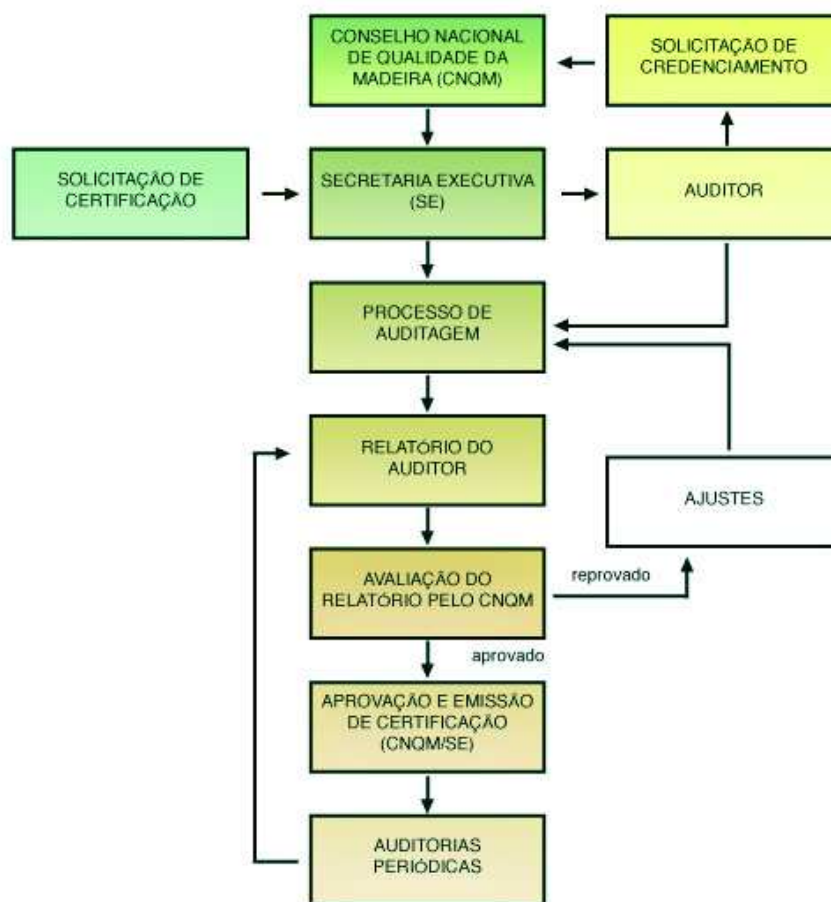


FIGURA 6 – FASES DO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO.
FONTE: ABIMCI 2002

O Programa considera dois tipos básicos de chapas no caso do Pinus.

Interior (IR)- Chapa colada com resina tipo interior, sendo na maioria dos casos a uréia formaldeído.

Exterior (EX)- Chapa colada com resina tipo exterior, sendo na maioria dos casos as resinas fenólicas.

O quadro abaixo apresenta as principais dimensões e características construtivas das chapas de compensado de Pinus.

		Tolerâncias			
Espessura da chapa (mm)	Quantidade mínima de lâminas	Espessura (%)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	
09	05	+/- 5	+0,0/-2,0	+0,0/-2,0	
12					
15					
18	07				
21					
22					09
25					11

QUADRO 1 - PRINCIPAIS DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS CHAPAS DE COMPENSADO DE PINUS

FONTE: ABIMCI

A classificação das chapas de Pinus são realizadas com base na qualidade da face e da contra-face. A inspeção é realizada através de inspeção visual.

As propriedades físicas e mecânicas consideradas pelo PNQM como padrão base para as chapas de compensados de pinus brasileiro são apresentadas nos quadros 2 e 3.

Para cada propriedade, apresenta-se a média e os valores máximos e mínimos.

ESPESSURA DA CHAPA (mm)	QUANTIDADE DE LÂMINAS	*kg/m³	
09	05	MÁXIMO	614
		MÉDIO	565
		MÍNIMO	516
12	05	MÁXIMO	573
		MÉDIO	532
		MÍNIMO	491
15	05	MÁXIMO	547
		MÉDIO	512
		MÍNIMO	477
18	07	MÁXIMO	591
		MÉDIO	554
		MÍNIMO	517
20	09	MÁXIMO	564
		MÉDIO	528
		MÍNIMO	492
22	09	MÁXIMO	596
		MÉDIO	559
		MÍNIMO	522
25	07	MÁXIMO	554
		MÉDIO	523
		MÍNIMO	492
28	09	MÁXIMO	585
		MÉDIO	538
		MÍNIMO	491

QUADRO 2. – MASSA ESPECÍFICA DO COMPENSADO DE PINUS BRASILEIRO

FONTE: ABIMCI

ESPESSURA DA CHAPA (mm)	QUANTIDADE DE LÂMINAS		*kgf/cm ²			
			PARALELA		PERPENDICULAR	
			MOE ^(a)	MOR ^(a)	MOE ^(a)	MOR ^(a)
09	05	MÁXIMO	118.016	683	30.417	307
		MÉDIO	85.477	498	22.734	224
		MÍNIMO	52.939	313	15.052	142
12	05	MÁXIMO	89.212	527	37.742	348
		MÉDIO	68.990	381	28.389	253
		MÍNIMO	48.768	234	19.036	158
15	05	MÁXIMO	92.132	441	35.435	338
		MÉDIO	69.331	329	26.334	227
		MÍNIMO	46.529	217	17.233	116
15	07	MÁXIMO	89.978	528	45.739	405
		MÉDIO	69.130	395	33.729	295
		MÍNIMO	48.282	263	21.719	184
18	07	MÁXIMO	81.373	459	48.526	410
		MÉDIO	63.383	347	36.228	300
		MÍNIMO	45.392	234	23.931	189
18	09	MÁXIMO	82.201	466	44.605	351
		MÉDIO	70.949	369	36.337	270
		MÍNIMO	59.696	273	28.069	189
20	07	MÁXIMO	74.188	444	47.482	370
		MÉDIO	60.660	329	36.447	274
		MÍNIMO	47.132	213	25.412	177
20	09	MÁXIMO	76.426	419	58.064	438
		MÉDIO	59.520	326	43.869	328
		MÍNIMO	42.613	232	29.674	218

QUADRO 3 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DO COMPENSADO DE PINUS BRASILEIRO

FONTE: ABIMCI

3.9 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS DE PROPRIEDADES DE MADEIRAS

Segundo a ABENDE (2002), os ensaios não-destrutivos são aqueles realizados em materiais para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior.

As técnicas não destrutivas para madeira diferem muito daquelas utilizadas para materiais homogêneos e isotrópicos, tais como metais, plásticos, cerâmicas, nos quais as propriedades mecânicas são conhecidas e rigorosamente controladas nos processos de fabricação. Nesses, a avaliação não destrutiva detecta descontinuidades, vazios ou inclusões. Na madeira, essas irregularidades ocorrem naturalmente e podem ser induzidas por agentes degradantes. Portanto, neste material as técnicas não destrutivas são usadas para avaliar como as irregularidades naturais e induzidas pelo ambiente interagem em uma peça de madeira para avaliar suas propriedades mecânicas (ROSS& PELLERIN, 1994, citado por CUNHA 2007).

Os métodos não destrutivos apresentam algumas vantagens sobre os métodos destrutivos, entre as principais vantagens pode-se citar: a possibilidade de

utilização da peça testada; a rapidez de aplicação do método; facilidade de utilização e transporte do equipamento

O método não destrutivo tem sido utilizado na área florestal para uma série de finalidades, desde a matéria prima bruta até peças estruturais.

A hipótese fundamental para avaliação não destrutiva de produtos de madeira foi inicialmente proposta por JAYME¹ em 1959, ao verificar que as propriedades de armazenamento e dissipação de energia da madeira, que podem ser medidas de forma não destrutiva, através de uma série de técnicas estáticas e dinâmicas, são controladas pelos mecanismos que determinam as propriedades mecânicas deste material. Estas propriedades, especialmente o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) são relacionados, nesta teoria, com a energia armazenada e com a dissipação de energia, respectivamente (MATOS, 1997). Dessa forma, relações matemáticas entre essas propriedades puderam ser estabelecidas. A medição dos fatores de dissipação sob condições de baixa tensão torna possível a estimativa das propriedades de resistência, que são, normalmente, determinadas pela complexa ruptura do material, no caso dos métodos destrutivos (PELLERIN, 1965).

3.9.1 MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA POR EMISSÃO DE ONDAS DE TENSÃO (STRESS WAVE)

Esta técnica tem sido investigada há vários anos e obteve avanços significativos no uso da madeira em diversas aplicações. É um método das ondas de tensão (Stress Wave), a qual consiste na aplicação de uma onda de tensão (impacto) no material e análise do fenômeno de propagação desse estímulo. Quando a onda atinge o acelerômetro de partida, uma contagem de tempo se inicia. Quando a onda alcança o acelerômetro de parada, a contagem de tempo cessa e o aparelho registra e mostra o tempo decorrido de trânsito da onda de tensão, entre os acelerômetros, através do material (SCHAD et al., 1996; MATOS, 1997).

Através dos valores obtidos no ensaio pode-se calcular a velocidade de propagação das ondas, utilizando a seguinte expressão:

$$V = \frac{d}{t} \quad (1)$$

em que,

V : velocidade de propagação das ondas (m/s)

d : distância entre os transdutores ou acelerômetros (m)

t : tempo de propagação das ondas (s)

δ

A velocidade de propagação das ondas é, muitas vezes, utilizada para determinar o módulo de elasticidade dinâmico (METRIGUARD, 1997), através da expressão:

$$MOEd = \delta \times V^2 \times \left(\frac{1}{g} \right) \quad (2)$$

em que,

MOEd : módulo de elasticidade dinâmico

δ : massa específica do material

g : aceleração da gravidade (9,804 m/s²)

V : velocidade da onda

Segundo CASTELO, a quantificação da velocidade do som através do material, que é muitas vezes usada para expressar o módulo de elasticidade dinâmico, é muito comum para produtos de madeira. Isto é explicado pela simplicidade dos equipamentos e pela facilidade de análise de dados. A velocidade do som é comumente convertida para o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd). Apesar da simplicidade, o uso dessa conversão acarreta algumas considerações:

- a) Normalmente considera-se apenas a velocidade de onda mais alta;
- b) Esta onda mais rápida atravessa o material na sua porção de mais alta qualidade desviando das áreas fracas (madeira juvenil, nós, camadas de baixa massa específica);
- c) O cálculo do MOEd requer o conhecimento da massa específica do material que dificilmente é determinada não destrutivamente.

Por outro lado, usando o espectro da onda de tensão criada pelo impacto de onde parâmetros não destrutivos podem ser escolhidos superando as desvantagens que a velocidade de propagação apresenta (BUCUR, 1987):

- a) O espectro da onda de tensão fornece a representação das condições e características do material como um todo;
- b) Um grande número de variáveis pode ser selecionado de um único espectro de frequência de onda (energia máxima, frequência dominante, variação de frequência, atenuação, entre outros);

c) Parâmetros não destrutivos múltiplos podem aumentar a correlação com os parâmetros destrutivos;

d) Estas variáveis são menos susceptíveis às condições ambientais.

O aparelho Stress Wave Timer não trabalha com a deformação e sim com a velocidade de propagação das tensões de ondas.

3.10 PRINCIPIOS BÁSICOS DOS MÉTODOS ESTUDADOS

3.10.1 NORMA VOLUNTARIA PS2-04 (PERFORMANCE STANDARD FOR WOOD-BASED STRUCTURAL- USE PANELS)

A PS2-04 é uma norma voluntária, americana que tem como objetivo estabelecer os requisitos de desempenho para produção, marketing e especificações de uso para painéis estruturais de madeira. Abrange requisitos de qualificação e desempenho, e métodos de ensaios para painéis laminados ou particulados.

Artigo 7. Métodos de ensaios. Item 7.20. Dead weight stiffness capacity (EI) test (não mandatório)

Este ensaio nos permite realizar uma estimativa da capacidade máxima em rigidez, dos painéis sob carga.

Para a realização deste ensaio utiliza-se uma estrutura metálica com dois apoios com largura de 1,22m e distantes entre si (vão) de 2,135m, sobre a qual serão colocados os painéis a serem ensaiados. Barras metálicas com pesos de 20 e 40 lb são aplicadas no meio do painel e sua deformação sob este peso é medida por um relógio deflectômetro.

A agência certificadora deve estabelecer o número de painéis ou amostras a serem ensaiados.

Especificações da Norma Européia EN 326-2- Parte 2: Controle de Qualidade em Fábrica.

- De acordo com a norma Européia, em todas as linhas de produção o fabricante deve inspecionar as propriedades das chapas que produz exigidas na especificação EN aplicável. Devem ser retiradas amostras de todos os tipos de produtos e espessuras.
- **Artigo 5: Controle de Produção em Fábrica:**

- Na determinação das características dos painéis podem ser usados procedimentos alternativos aos procedimentos normalizados desde que possa ser estabelecida uma correlação estatística significativa entre os valores especificados e medidos para diferentes propriedades.
- **Artigo 7; Controle do Laboratório da Fábrica:**
- Quando da utilização de procedimentos de ensaios alternativos, os resultados devem ser corrigidos de acordo com o artigo 8 da norma. Os resultados de ensaios obtidos pelo laboratório da fábrica e pelo organismo de inspeção devem ser comparados por meio de um teste *t* em amostras duplicadas, de acordo com procedimentos desta norma.
- **Artigo 8: Determinação da Correlação entre os resultados obtidos com um procedimento alternativo e os obtidos por procedimento normalizado:**
- Para estabelecer a correlação entre os resultados obtidos por um procedimento normalizado deve-se proceder à amostragem aleatória de, pelo menos, 32 painéis do mesmo tipo de produto. Estes painéis devem ser cortados e ensaiados de maneira a garantir que os resultados obtidos, para cada procedimento, sejam representativos das propriedades de cada um dos painéis.
- Se o valor calculado do coeficiente de correlação for superior a 0,70, a equação de regressão pode ser utilizada para ajustar os resultados do ensaio pelo procedimento alternativo aos obtidos pela aplicação do procedimento normalizado.

3.11 CLASSIFICAÇÃO MECÂNICA

Os ensaios destrutivos deixam algum sinal na peça ou corpo de prova submetido ao ensaio. Exemplos tração, cisalhamento, compressão, flexão, etc.

Na classificação mecânica destrutiva, o critério para a aceitação de cada peça de madeira depende da norma a ser utilizada

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PAINÉIS ESTUDADOS

Os painéis utilizados são de *Pinus taeda* L. de espessura nominal de 18mm, com dimensões de 2,44m de comprimento por 1,22m de largura, constituído de 7 camadas, colados com resina fenólica . Os painéis foram fornecidos para o Laboratório de Tecnologia da Madeira para a realização de ensaios destrutivos e não destrutivos.

4.2 AMOSTRAGENS DO PRODUTO

Foram amostrados 32 painéis comerciais, com os quais foram realizados testes mecânicos de caracterização do produto segundo a norma europeia e a norma americana, dividindo-se em ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos.

4.3 AVALIAÇÕES NÃO DESTRUTIVAS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS

Para a realização dos ensaios os painéis ensaiados foram colocados sobre o aparato metálico verificando no deflectômetro as deformações sofridas pelo mesmo.

A avaliação não destrutiva foi realizada utilizando-se um equipamento de medição do tempo de emissão de ondas de tensão através dos painéis (stress wave), marca METRIGUARD modelo 239- A, constituído de um sistema de garras, acelerômetros e registrador de tempo, foram tomados os tempos de propagação, em microssegundos no sentido paralelo e perpendicular de cada painel.

Para cada painel foram realizadas medições até que coincidissem dois valores idênticos, com os valores coletados realizou-se o calculo do MOE e do MOR.

4.4 MÉTODOS- NÃO – DESTRUTIVO – PROVA DE CARGA

Para a realização da prova de carga utilizou-se um aparato metálico com as seguintes dimensões, 1,22m de largura entre os apoios e 2,135m de comprimento. Ainda utilizou-se duas barras metálicas com pesos de 20 e 40 lb, as mesmas forma aplicadas no meio de cada painel e mediu-se a flecha de deformação pelo relógio deflectômetro o qual encontra-se em baixo do painel.

Os procedimentos de posicionamento do painel sobre o aparato, e os locais de medição de deformações seguiram recomendações da norma.

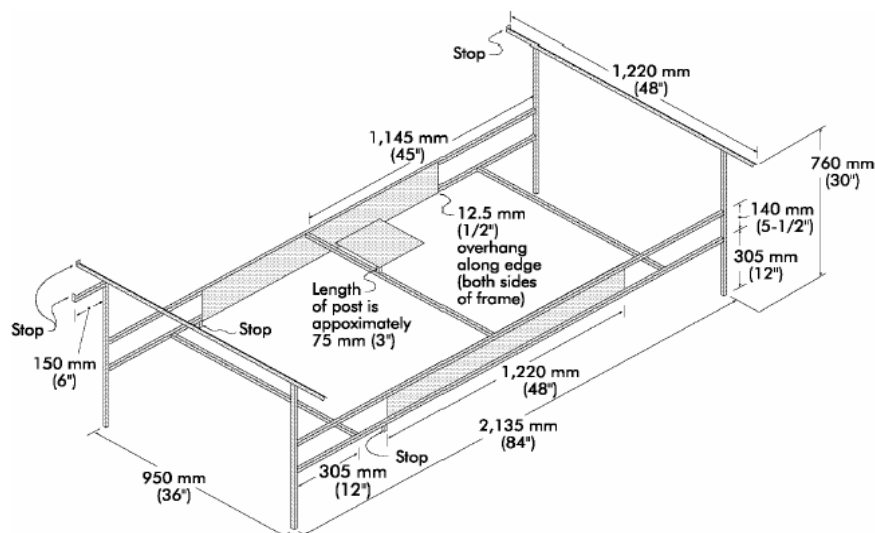


FIGURA 7 – APARATO PARA ENSAIOS DE CCARGA EM PAINÉIS ESTRUTURAIS DE ACORDO COM A NORMA PS2-04

FONTE: National Institute of Standards and Technology

Os resultados individuais da máxima rigidez e o módulo de elasticidade dinâmico dos painéis foram obtidos aplicando-se a equação geral para cálculo da rigidez dos painéis.

$$EI = \frac{(P2 - P1) \times L^3}{K \times b \times (D2 - D1)} \quad (3)$$

Onde:

El = Rigidez do Painei (N.mm²/ mm) ou (lbf.in² / ft)

P1 = Pré-carga (N) (lbf)

P2 = Carga total (N) (lbf)

L = vão (mm) (in)

b = largura (mm)

D1 = Deformação após a pré-carga (mm) (in)

D2 = Deformação após a carga final (mm) (in)

K = constante (48 quando b é medido em mm, 4 quando b é medido em polegadas).

4.4.1 VALORES DE REFERÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS ESTRUTURAIS DE ACORDO COM CERTIFICADORAS AMERICANAS.

As certificadoras americanas que atuam no Brasil classificam os painéis compensados produzidos de acordo com o valor individual da rigidez do painel, obtida de acordo com os procedimentos do ensaio de carga, descritos anteriormente, e de acordo com a classe de espessura.

Os valores de referência praticados no Brasil pelas certificadoras americanas, para classificação dos compensados em classe estrutural, de acordo com o índice de rigidez, são apresentados no quadro 1.

Peso	Bitola		OSB e Compensado Estrutural				Compensado Industrial			
			Sheathing		T&G		Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
10 lb	9 mm	11/32"	20/0	40.000			38.000	32.000	25.000	21.000
	9,5 mm	3/8"	24/0	60.000			54.000	45.000	36.000	30.000
	11	7/16"	24/16	90.000						
	12	15/32"	32/16	135.000	16 oc	200.000	130.000	110.000	87.000	73.000
20 lb	15	19/32"	40/20	230.000	20 oc	250.000	230.000	190.000	150.000	125.000
	189	23/32"	48/24	450.000	24 oc	350.000	355.000	295.000	235.000	195.000
	22	7/8"					550.000	460.000	365.000	305.000

QUADRO 4- VALORES DE REFERÊNCIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE COMPENSADOS EM CLASSES DE QUALIDADE PRATICADOS POR AGÊNCIAS DE CERTIFICAÇÃO AMERICANAS, NO BRASIL

FONTE: National Institute of Standards and Technology

4.5 MÉTODOS STRESS WAVE TIMER – NÃO – DESTRUTIVO.

A avaliação foi realizada nas chapas dispostas sobre o aparato metálico por meio da utilização do aparelho denominado Stress Wave Timer, modelo 239-A, da marca Metriguard, com seus acessórios para aplicação de ondas de tensão. Foi realizada a avaliação da onda de tensão transmitida no sentido paralelo e perpendicular da chapa. Empregou-se a metodologia que consiste no impacto na chapa com um pêndulo através de um receptor localizado do outro lado da chapa. O relógio registrador foi zerado, então liberava-se o pêndulo metálico que chocava-se com o sensor que emitia a onda no compensado, fazendo com que a onda percorresse o compensado até o receptor. Este processo era repetido até que houvesse a estabilização do valor de velocidade da onda, anotava-se então o valor e prosseguia-se com o processo para a próxima chapa.

Determinou-se a velocidade de propagação de ondas através da expressão:

$$V = \frac{d}{t} \quad (4)$$

A massa específica, através da seguinte equação:

$$ME_{12\%} = \frac{M}{V} \quad (5)$$

Para a realização do cálculo do MOEd. O MOEd foi calculado da seguinte forma:

$$MOEd = \frac{V \times ME_{12\%}}{A} \quad (6)$$

A = aceleração da gravidade.

4.6 CONFECÇÕES DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram confeccionados no Laboratório de Usinagem da Madeira de acordo com a norma EN 789:2004. Após o procedimento de confecção dos corpos de prova, os mesmos foram levados ao laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná onde seguiram para a câmara de climatização com exceção dos corpos de teor de umidade.

Na câmara de climatização, a umidade relativa do ambiente é controlada a $65 \pm 5\%$ e a temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Com estes controles a umidade de equilíbrio dos corpos é de aproximadamente 12%.

4.7 MÉTODOS EN 789 – AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS PAINÉIS COMPENSADOS - MÉTODO DESTRUTIVO

Os corpos de prova foram confeccionados seguindo o esquema de corte da norma europeia EN-789, conforme a figura 8.

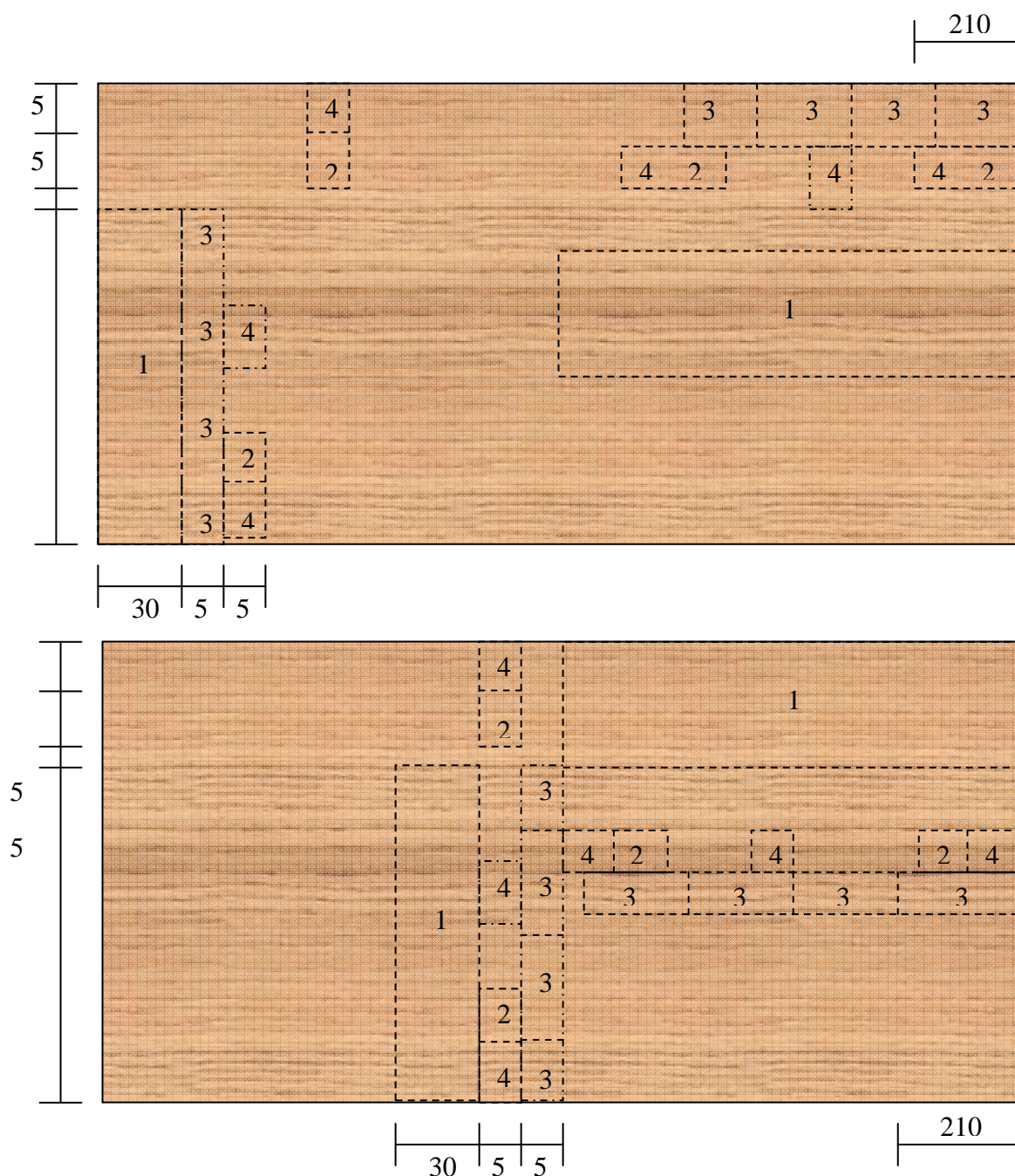


FIGURA 8 – ESQUEMA DE CORTE DO TIPO ESTRUTURAL
FONTE: O Autor (2008)

Os corpos de prova foram condicionados na câmara climática até quando atingiram massa constante.

4.7.1 FLEXÃO ESTÁTICA (EN-789:2004)

As dimensões e as medições dos corpos de prova seguiram a norma que diz que:

A largura deve ser de 300 ± 5 mm;

O comprimento entre o vão não deve ser maior que 400 mm e menor que 240 mm com precisão de ± 1 mm.

Para facilitar e padronizar as medições, os corpos de prova foram marcados nos locais onde as medições deveriam ser realizadas.

Para realizar determinação das propriedades mecânicas de flexão estática foram amostrados 2 corpos de prova por painel, sendo 1 no sentido paralelo ao sentido das fibras da capa e 1 perpendicular ao sentido das fibras da capa.

As medidas e dimensões estão descritas na Figura 9.

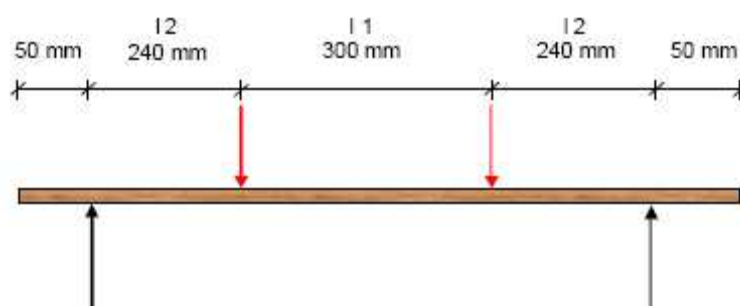


FIGURA 9 –DIMENSÕES E PARÂMETROS PARA ENSAIOS DO CORPO DE PROVA DE FLEXÃO ESTÁTICA ESTRUTURAL

Parâmetros	Valores
Comprimento 880 mm	880
Vão I1 300 mm	300
Vão I2 240 mm	240
Largura 300 mm	300
Tempo de Ruptura	300 ± 120 s

QUADRO 5 - PARÂMETROS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DO CORPO DE PROVA DOS PAINÉIS COMPENSADOS, DE ACORDO COM A NORMA EN – 789

FONTE: Prata (2006)

Para estes ensaios foi utilizada a máquina de ensaios da marca EMIC DL com capacidade de 300 KN, uma balança digital com capacidade de 15Kg um paquímetro que permite leitura de 0,1mm.

Determinação do Módulo de Elasticidade (E_m) à Flexão Estática.

$$E_m = \frac{(F_2 - F_1) \times l_1^2 \times l_2}{16 \times (u_2 - u_1) \times I} \quad (7)$$

Onde:

E_m : Módulo de Elasticidade(N/mm²)

F_2 : 40% da força máxima(N);

F_1 : 10% da força máxima(N);

l_1 : Distância entre as aplicações de cargas(mm);

l_2 : Distância entre o apoio e a aplicação da carga(mm);

u_1 : Deformação correspondente à 10% da força máxima(mm);

u_2 : Deformação correspondente à 40% da força máxima(mm);

I : Momento de Inércia(mm⁴)

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (8)$$

Onde:

I : Momento de Inércia (mm⁴)

b : Largura do corpo de prova(mm);

h : Espessura do corpo de prova(mm);

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 MÓDULO DE ELASTICIDADE E MÓDULO DE RUPTURA ESTÁTICO (MÉTODO DESTRUTIVO)

Nos quadros 6 e 7 são apresentados de acordo com a norma EN 789 os valores de módulo de elasticidade e módulo de ruptura que expressam a rigidez dos painéis.

Obtiveram-se estes valores através de ensaios destrutivos e apresentados nas tabelas a seguir.

ENSAIOS FLEXÃO- DESTRUTIVO	NORMA EN 789
NORMA EN 789	ESPESSURA 18mm

	No.	Amostra	densidade g/cm3	MOE	Em	MOR	MOR
Amostra sequencial				kgf/cm2	N/mm2	fm	Fm
						kgf/cm2	N/mm2
	1	154	0,478	50.892,37	4.990,84	344,239	33,758
	2	155	0,622	79.355,00	7.782,07	247,483	24,27
	3	156	0,571	36.778,48	3.606,74	189,952	18,628
	4	157	0,608	36.309,22	3.560,72	151,802	14,887
	5	158	0,567	66.346,39	6.506,36	159,306	15,623
	6	159	0,516	57.826,79	5.670,87	233,41	22,89
	7	160	0,525	61.230,84	6.004,69	462,502	45,356
	8	161	0,500	40.039,65	3.926,55	248,714	24,391
	9	162	0,554	65.213,52	6.395,26	199,346	19,549
	10	163	0,540	48.315,63	4.738,15	180,96	17,746
	11	164	0,558	37.677,34	3.694,89	22,848	23,815
	12	165	0,551	41.297,24	4.049,88	186,853	18,324
	13	166	0,494	48.825,20	4.788,12	241,129	23,647
	14	167	0,504	46.724,18	4.582,08	264,062	25,896
	15	168	0,547	118.793,56	11.649,67	546,992	53,642
	16	169	0,540	42.776,40	4.194,93	105,222	10,319
	17	170	0,529	51.571,20	5.057,41	174,676	17,13
	18	171	0,528	47.168,47	4.625,65	146,103	14,328
	19	172	0,505	58.577,98	5.744,54	216,71	21,252
	20	173	0,553	51.409,85	5.041,58	367,261	36,016
	21	174	0,537	51.229,60	5.023,91	208,267	20,424
	22	175	0,532	41.223,21	4.042,62	179,787	17,631
	23	176	0,525	58.097,59	5.697,43	447,386	43,874
	24	177	0,516	44.251,66	4.339,61	220,982	21,671
	25	178	0,573	78.713,61	7.719,17	293,908	28,823
	26	179	0,491	44.886,70	4.401,88	230,404	22,595
	27	180	0,554	86.994,16	8.531,21	595,301	58,379
	28	181	0,561	50.720,76	4.974,01	286,767	28,122
	29	182	0,583	51.361,30	5.036,82	202,541	19,863
	30	183	0,567	73.340,40	7.192,24	396,731	38,906
	31	184	0,586	52.886,25	5.186,37	174,659	17,128
	32	185	0,474	61.895,56	6.069,88	196,194	19,24
			$\bar{X} = 0,540$	$\bar{X} = 55.710,32$		$\bar{X} = 253,828$	

QUADRO 6 - VALORES DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTRUTURAL PARALELA EM COMPENSADOS DE PINUS.

FONTE: o Autor (2008)

	Amostra no.	densidade g/cm3	MOE	Em	MOR fm	MOR FM
Amostra sequencial			kgf/cm2	N/mm2	kgf/cm2	N/mm2
1	154	0,472	20.273,19	1.988,121	119,930	11,761
2	155	0,612	46.039,78	4.514,960	265,250	26,012
3	156	0,558	32.130,24	3.150,900	221,740	21,745
4	157	0,609	43.278,71	4.244,191	311,327	30,531
5	158	0,535	30.262,40	2.967,728	178,499	17,505
6	159	0,521	35.421,45	3.473,658	238,556	23,394
7	160	0,523	23.899,17	2.343,708	149,917	14,702
8	161	0,600	44.249,29	4.339,373	247,906	24,311
9	162	0,495	29.599,02	2.902,673	186,259	18,266
10	163	0,550	36.101,36	3.540,334	204,947	20,098
11	164	0,501	23.753,81	2.329,453	176,393	17,298
12	165	0,497	26.992,66	2.647,076	215,559	21,139
13	166	0,477	25.420,71	2.492,921	180,788	17,729
14	167	0,548	29.321,00	2.875,408	182,130	17,861
15	168	0,540	22.685,00	2.224,638	133,561	13,098
16	169	0,561	31.104,25	3.050,285	110,251	10,812
17	170	0,557	27.973,58	2.743,271	199,430	19,557
18	171	0,506	26.155,82	2.565,010	135,966	13,334
19	172	0,496	29.330,37	2.876,326	95,829	9,398
20	173	0,588	31.670,03	3.105,769	119,556	11,724
21	174	0,515	37.576,53	3.684,998	141,730	13,899
22	175	0,553	32.055,17	3.143,538	211,161	20,708
23	176	0,575	31.043,92	3.044,368	161,361	15,824
24	177	0,556	38.447,21	3.770,384	253,622	24,872
25	178	0,566	36.290,61	3.558,893	247,503	24,272
26	179	0,494	15.937,95	1.562,979	101,550	9,959
27	180	0,494	24.720,22	2.424,225	163,260	16,010
28	181	0,559	30.077,61	2.949,606	125,368	12,294
29	182	0,561	25.176,36	2.468,958	185,071	18,149
30	183	0,552	29.158,37	2.859,459	149,267	14,638
31	184	0,547	29.704,22	2.912,989	137,307	13,465
32	185	0,502	21.121,49	2.071,310	110,725	10,858
		$\bar{X} = 0,539$	$\bar{X} = 30.217,86$		$\bar{X} = 176.9287$	

QUADRO 7 - VALORES DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTRUTURAL PERPENDICULAR EM COMPENSADOS DE PINUS
FONTE: O autor (2008)

O valor médio geral das densidades para os 32 painéis ensaiados foi de $\bar{X} = 0,540\text{g/ cm}^3$. Comparando o valor obtido nos ensaios e os valores exigidos pelo PNQM (quadro 2), observa-se que o material ensaiado encontra-se acima da média dos painéis produzidos por 18 empresas participantes do PNQM (ABIMCI 2002)

O resultado obtido para os painéis estudados da resistência a flexão estática paralela apresentaram a seguinte tendência:

A média geral do MOE e do MOR dos painéis encontra-se abaixo da média e acima do mínimo exigido pelo PNQM, (quadro 3.)

No caso da resistência à flexão estática perpendicular pode-se concluir que:

O valor médio geral do MOE e do MOR para os 32 painéis ensaiados estão abaixo da média e acima do mínimo exigido pelo PNQM (quadro 3).

Como esperado pode-se observar que os valores do MOE e do MOR paralelo são maiores comparados com os valores perpendiculares, isto é condizente com a literatura que nos diz que as propriedades mecânicas são maiores no sentido paralelo as fibras.

Os ensaios de flexão estática realizados para painéis de 18 mm de madeira de Pinus apresentaram valores médios compatíveis com produtos desta classe de espessura já testados em laboratório em ensaios do tipo ITT estrutural

5.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MÉTODO NÃO DESTRUTIVO)

Os valores do MOE dinâmico determinados em elementos de dimensões estruturais, pelo método do SWT e do PS2-04 são apresentados na tabela 3. ainda na tabela 3 será apresentado o valor da rigidez do painel.

Amostra sequencial	Comprimento	SWT LG	SWT tr	Espessura média	Def 20 lb	Def. 40 lb	diferença	EI	MOE PS2	MOE SWT
	(m)	µs	µs	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(Lbf.in²/ ft)	(N.mm²)	(N.mm²)
1	2,443	683	459,50	19,23	5,563	11,389	5,826	268,995	5.211	5.616,4
2	2,443	629	377,50	18,42	3,593	7,203	3,610	434,118	8.410	8.607,7
3	2,440	701	354,00	19,12	4,615	9,421	4,806	326,086	6.317	6.369,2
4	2,442	881	457,50	18,68	4,491	8,784	4,293	365,052	7.072	4.287,5
5	2,440	682	446,00	18,69	5,459	10,738	5,279	296,868	5.751	6.674,3
6	2,440	666	445,50	18,65	5,817	11,709	5,892	265,982	5.153	6.373,2
7	2,440	786	438,50	19,21	6,577	11,794	5,217	300,396	5.820	4.652,0
8	2,441	643	425,00	18,03	5,241	10,032	4,791	327,107	6.337	6.620,7
9	2,441	685	363,00	17,97	4,548	9,225	4,677	335,080	6.492	6.468,6
10	2,442	658	416,00	18,25	4,510	9,023	4,513	347,256	6.727	6.830,7
11	2,441	677	342,00	19,11	4,273	8,644	4,371	358,538	6.946	6.664,5
12	2,442	673	319,00	18,65	5,268	9,993	4,725	331,676	6.426	6.658,1
13	2,440	718	349,50	18,54	6,167	12,039	5,872	266,888	5.170	5.245,7
14	2,441	643	381,00	18,36	7,297	13,749	6,452	242,896	4.706	6.670,4
15	2,441	617	385,00	18,57	7,982	14,998	7,016	223,371	4.327	7.872,4
16	2,440	642	295,50	18,47	4,722	9,499	4,777	328,065	6.356	7.170,4
17	2,440	634	336,50	18,97	5,739	11,241	5,502	284,836	5.518	7.204,8
18	2,441	651	335,00	17,66	5,883	10,939	5,056	309,962	6.005	6.817,6
19	2,440	644	323,00	18,30	4,182	8,298	4,116	380,750	7.376	6.670,1
20	2,441	634	357,50	18,60	5,301	9,898	4,597	340,911	6.605	7.535,5
21	2,441	641	313,50	18,99	5,068	9,742	4,674	335,295	6.496	7.153,5
22	2,440	612	359,00	18,12	4,758	9,758	5,000	313,434	6.072	7.784,3
23	2,441	670	397,00	18,68	6,134	12,079	5,945	263,611	5.107	6.411,5
24	2,441	667	327,50	18,35	4,685	9,524	4,839	323,862	6.274	6.350,4
25	2,441	559	381,00	18,24	3,875	7,672	3,797	412,738	7.996	10.039,5
26	2,440	601	405,00	17,98	4,340	9,044	4,704	333,156	6.454	7.451,4
27	2,440	649	408,50	18,92	5,664	11,075	5,411	289,626	5.611	7.205,2
28	2,440	607	360,50	18,38	5,060	10,098	5,038	311,069	6.026	8.332,2
29	2,440	622	363,50	18,35	4,254	8,395	4,141	378,452	7.332	8.248,0
30	2,441	753	353,50	18,75	6,172	12,219	6,047	259,164	5.021	5.476,3
31	2,441	714	313,50	18,19	4,534	9,165	4,631	338,408	6.556	6.290,5
32	2,440	611	384,00	18,83	5,838	11,418	5,580	280,854	5.441	6.947,6
								$\bar{X} = 317,9532$	$\bar{X} = 6.160$	$\bar{X} = 6.834$

QUADRO 8 - PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS DE ACORDO COM PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE CARGA E STRESS WAVE TIMER
 FONTE: O autor (2008)

De acordo com os critérios utilizados por certificadoras americanas para os painéis testados pelo método do ensaio de carga, nenhum painel receberia classificação estrutural, pois nenhum dos 32 painéis atingiu o valor de rigidez mínimo de $450.000 \text{ lbf.in}^2/\text{ft}$, de acordo com os valores de referência apresentados na quadro 4.

A maior parte dos painéis seria classificado como compensado industrial do grupo 1, representando 68,75%. Nove painéis seriam classificados como industriais do grupo 2 e apenas um painel seria classificado como do grupo 3.

Observou-se que pelo método do SWT, os valores estimados são maiores que aqueles determinados pela prova de carga. Esta é uma tendência normal da utilização de técnicas acústicas para estimativa de MOE.

5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E MODELOS DE EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

A partir dos resultados obtidos com os ensaios do Stress Wave Timer e seguindo as normas Européias e Americana a matriz de dados foi analisada na busca de correlações que permitissem o estabelecimento de equações de regressão.

O critério para seleção de variáveis partiu da premissa de utilizar-se variáveis de fácil medida e modelos de estimativa simples.

	DENSIDAD	MOE_PA_M	MOR_PA_M	DENS_PER	MOE_PE_M	MOR_PE_M	SWT_LONG	SWT_PERP	DEFORMAC_PS2-04	MOE_DEF	MOE_SWT
DENSIDAD	1,00	0,19	-0,05	0,55	0,44	0,42	0,24	-0,10	-0,47	-0,47	0,23
MOE_PA_M	0,19	1,00	0,66	-0,04	-0,13	-0,15	-0,22	0,17	0,33	-0,20	0,33
MOR_PA_M	-0,05	0,66	1,00	-0,07	-0,27	-0,23	0,00	0,32	0,47	-0,40	0,00
DENS_PER	0,55	-0,04	-0,07	1,00	0,73	0,51	0,06	0,07	-0,27	0,32	0,22
MOE_PE_M	0,44	-0,13	-0,27	0,73	1,00	0,72	0,14	0,04	-0,42	0,45	0,08
MOR_PE_M	0,42	-0,15	-0,23	0,51	0,72	1,00	0,27	0,26	-0,29	0,32	-0,04
SWT_LONG	0,24	-0,22	0,00	0,06	0,14	0,27	1,00	0,28	0,07	-0,11	-0,88
SWT_PERP	-0,10	0,17	0,32	0,07	0,04	0,26	0,28	1,00	0,22	-0,20	-0,26
DEFORMAC	-0,47	0,33	0,47	-0,27	-0,42	-0,29	0,07	0,22	1,00	-0,98	-0,31
MOE_DEF	0,53	-0,20	-0,40	0,32	0,45	0,32	-0,11	-0,20	-0,98	1,00	0,39
MOE_SWT	0,23	0,33	0,00	0,22	0,08	-0,04	-0,88	-0,26	-0,31	0,39	1,00

QUADRO 9 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO TODOS OS VALORES DE RESISTÊNCIA OBTIDOS NOS SENTIDOS PARALELOS E PERPENDICULAR AS FIBRAS (EN 789 X PS2 X STRESS WAVE TIMER)

FONTE: O autor (2008)

DENSIDAD – Densidade (g/cm³)

MOE_PA_M – Módulo de Elasticidade Paralelo (MPa)

MOR_PA_M – Módulo de Ruptura Paralelo (MPa)

DENS_PER – Densidade Perpendicular (g/cm³)

MOE_PE_M – Módulo de Elasticidade Perpendicular (MPa)

MOR_PE_M – Módulo de Ruptura Perpendicular (MPa)

SWT LONG – Stress Wave Timer Paralelo (µs)

SWT PERP – Stress Wave Timer Perpendicular (µs)

DEFORMAC – Diferença da Deformação (MPa)

MOE_DEF – Módulo de Elasticidade- PS2 (MPa)

MOE SWT – Módulo de Elasticidade – Stress Wave Timer (MPa)

Nesta matriz de correlação foram considerados os valores de resistência obtidos em ensaios normalizados (EN 789) levando em consideração a orientação das fibras.

A variável deformação do painel apresentou correlação elevada com os valores obtidos no ensaio de carga Módulo de Elasticidade. Entretanto com as variáveis MOR e MOE obtidos nos ensaios normalizados, os valores foram baixos, e inferiores ao índice de 0,7 exigido pela norma europeia para que o modelo possa ser aceito como procedimento alternativo.

A variável MOE SWT apresentou valores baixos e inferiores ao índice de 0,7 exigido pela norma europeia para que possa ser aceito como procedimento alternativo.

A variável densidade (Densidad_Per), apresentou correlação elevada com a variável MOE_ PE sendo o valor de 0,73 atendendo ao índice de 0,7 exigido pela norma europeia. Esta correlação entre a densidade e o MOE já era esperada, pois sabe-se que quanto maior a densidade melhor as propriedades mecânicas.

Podemos observar elevada correlação entre MOE_SWT x SWT_LONG (-0,88) e entre MOE_DEF x DEFORMAC_PS2-04, isto pode ser atribuído ao fato de que as variáveis SWT e DEFORMAÇÃO são elementos da equação de cálculo do valor do MOE.

ANÁLISE REGRESSÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR X DENSIDADE PERPEPNDICULAR

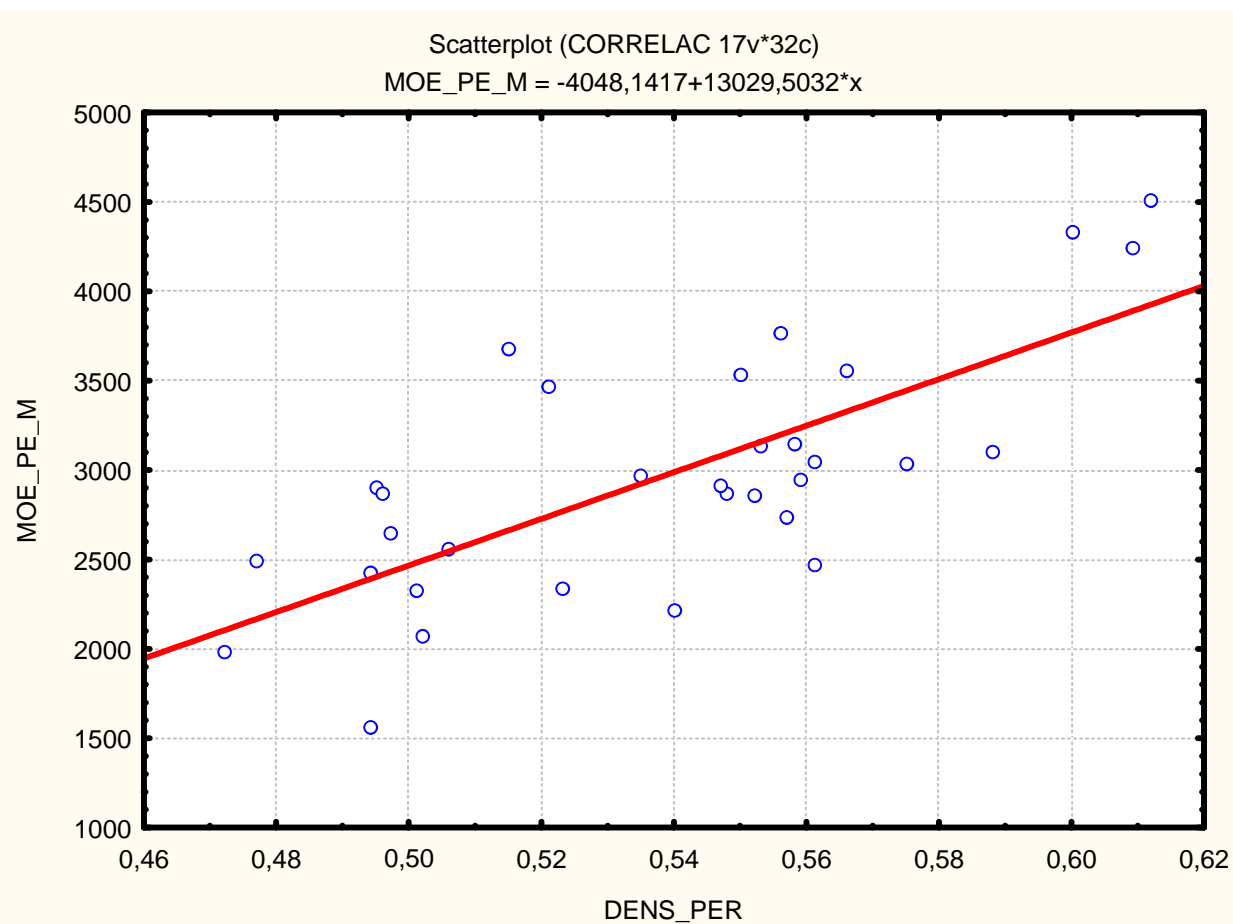


GRÁFICO 1 – CORRELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE PERPENDICULAR COM O MOE PERPENDICULAR

FONTE: O autor (2008)

Pode-se notar através do gráfico que a variável MOE apresentou uma elevada correlação com a variável densidade, atingindo uma correlação de 0,72, atendendo ao índice de 0,7 exigido pela norma européia.

Através do gráfico nota-se que quanto maior a densidade maior a propriedade mecânica do painel, o que está condizente com a literatura que diz que “quanto maior a densidade maiores serão as propriedades mecânicas do material.

6. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste estudo pode-se apresentar as seguintes conclusões:

A definição de um procedimento alternativo para estimativa e ajuste de resultados dos ensaios pelos procedimentos normalizados não foi possível em nenhum dos painéis utilizados, pois nenhuma variável atingiu o valor mínimo estabelecido pela norma EN 326-2, em seu capítulo 8, para aceitação do método.

Apesar dos resultados apresentados nesta pesquisa não atingirem os valores exigidos pela EN 326-2, não se deve descartar a continuidade de estudos que visem demonstrar esta possibilidade.

Alguns fatores limitantes que podem ter contribuído para a indefinição de uso das técnicas não destrutivas adotadas, como procedimento alternativo aos ensaios normalizados, devem ser revistos na continuidade dos estudos, dentre eles: o aumento de amostragem de classes de espessuras; o aumento de produtos de mesma classe, mas de diferentes empresas.

Fontes

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial**. Curitiba. ABIMCI 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial**. Curitiba. ABIMCI 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Compensado de Pinus. **Catálogo Técnico** – nº1. Curitiba. ABIMCI, 2002.

BALDWIN, R. F. **Plywood manufacturing practices**. 388 p. San Francisco: Miller Freeman, 1995.

BUCUR, V. **Varieties of Resonance wood and their Elastic Constants**. Journal of the Catgut Acoustical Society, [S.l.], n. 47, p. 42-48, 1987.

CUNHA, A. B. da - **Produção de vigas estruturais de madeira avaliadas por meio de ensaios estáticos e dinâmicos**. 146f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007

FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1999. WOOD HANDBOOK—Wood as an engineering material. Wood-based Composites and Panel, Products chapter 10, en. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, **Forest Products Laboratory**. 463 p.

IWAKIRI, S **Painéis de madeira**, Curitiba 1998. 1º ed.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

JANKOWSKY I. P., Variação da resistência à flexão estática do compensado de pinus caribaea var . hondurensis, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem **Circular Técnica** nº 124 IPEF Instituto de pesquisas e estudos florestais. Dezembro/1980

MATOS, J. L.M **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 1997.

MENDES, L. M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** 156p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001

PRATA, J. G **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados.** 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2006.

TARGA, L. A. AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA COM USO DE MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO DE VIBRAÇÃO TRANSVERSAL, Jaboticabal maio 2005 <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n2/26490.pdf>, acessado 22/08/2008

SOUZA, M. A. M Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden. Curitiba, 2006. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MACEDO A. R. P., ROQUE C. A. L. **Painéis de madeira** Setorial nº 6 BNDES setembro 1997 <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/painel.pdf> acessado em 22/08/2008

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

PIO, N. da S, **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* HILL ex-Maiden.** Curitiba. 2002 168p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná.

EN 789:1995 Estruturas de Madeira – Métodos de teste – Determinação das propriedades mecânicas de painéis derivados de madeira. **European Standard** (versão portuguesa), Bruxelas 1995.

ZUGMAN, I.C. Estrutura das Indústrias e Comércio de Madeira Compensada e Laminada no Brasil e no Mundo. In. 1º Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1998. Belo Horizonte. **ANais**, p 49-54.

TOMASSELI, I. A Indústria de Painéis no Brasil e no Mundo: Tendências de Mudanças do Perfil de Produção e Usos. In. 1º Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1998. Belo Horizonte. **ANAIS**, 55-